



UNIVERSIDAD DEL SALVADOR

Facultad de Ciencia y Tecnología

Carrera de Ingeniería Industrial

Trabajo Final de Ingeniero

USAL PROCESOS DE NITRURACION DE ACEROS DEL SALVADOR Y SU SIMULACION COMPUTACIONAL A TRAVES DE ELEMENTOS FINITOS

Presentado por: María Nazareth ALVES ROSA

Tutor: Dr. Gustavo Sánchez Sarmiento

Buenos Aires, Argentina

Marzo 2008



*Dedico este trabajo a todos mis seres queridos, en especial a mi papá
que cada día me acompaña desde el cielo.
A mi querido tutor, el Dr. Gustavo Sánchez Sarmiento,
por su dedicación e inmensurable paciencia.
Y, finalmente, a mi persona, por haber tenido tanta fuerza de voluntad
y por estar orgullosa de haber alcanzado esta meta,
tan ansiada en mi vida*

INDICE

I. INTRODUCCION.....	5
I.1 CLASIFICACIÓN DE DISTINTOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	5
I.2 PROCESOS TERMOQUÍMICOS	6
II. DIFUSIÓN EN SÓLIDOS.....	9
II.1. CONCEPTOS GENERALES DE LA DIFUSIÓN.	10
II.1.1. <i>Energía de activación.</i>	10
II.1.2 <i>Tipos de difusión en sólidos.</i>	12
II.1.3 <i>Descripción física de la difusión- Definición de flujos- Primera Ley de Fick.</i>	24
II.1.4 <i>Segunda Ley de Fick</i>	40
II.2. DEPENDENCIA DE LA DIFUSIÓN DE SÓLIDOS CON LA TEMPERATURA	49
III. NITRURACION.....	52
III.I. HISTORIA DE LA NITRURACIÓN.	54
III.2. CONCEPTOS GENERALES DE LA NITRURACIÓN.....	55
III.2.1. <i>Efectividad.</i>	55
III.2.2. <i>Elementos de aleación.</i>	55
III.2.3. <i>Características de la nitruración.</i>	56
III.3. DIAGRAMA DE FASES DE Fe-N.	57
III.3.1. <i>Fase α.</i>	58
III.3.2. <i>Fase γ.</i>	58
III.3.3. <i>Fase γ'.</i>	59
III.3.4. <i>Fase ε.</i>	59
III.4. FASES EN LA NITRURACIÓN.	60
III.5. INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN.	60
III.6. CONCEPTO DE DUREZA EN EL PROCESO DE NITRURACIÓN.....	63
III.7. COMPOSICIÓN DE LA CAPA NITRURADA.....	64
III.8. FORMACIÓN DE LA CAPA NITRURADA.....	66

<i>III.8.1. La actividad del nitrógeno.....</i>	<i>69</i>
III.9. TEMPERATURA DE NITRURACIÓN.....	70
III.10. DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE NITRURACIÓN.....	71
III.11. NITRURABILIDAD.	72
III.12. NITRURACIÓN GASEOSA.	74
III.13. NITRURACIÓN DE PLASMA.....	77
<i>III.13.1. Transferencia de masa de nitrógeno desde el plasma hacia la superficie.....</i>	<i>78</i>
<i>III.13.2. Difusión del nitrógeno</i>	<i>82</i>
<i>III.13.3. Suposiciones básicas para el proceso de nitruración</i>	<i>84</i>
<i>III.13.4. Materiales y métodos experimentales.....</i>	<i>84</i>
<i>III.13.5. Resultados y discusión.....</i>	<i>86</i>
IV. CONCLUSION	121
V. REFERENCIAS	123

I. INTRODUCCION

En muchas aplicaciones en ingeniería, hay que manejar los efectos de la temperatura y energía térmica para lograr un determinado conjunto de objetivos.

Muchos componentes metálicos requieren distintas propiedades superficiales con respecto al centro del material. La ingeniería está desarrollando distintos *métodos de endurecimiento superficial*, de manera de que se puedan obtener o personalizar ciertas características del material, en una delgada capa superficial (a través de la modificación superficial del material o de la aplicación de una capa o cobertura), de tal manera que no se afecten las propiedades en el corazón del material.

Los requerimientos de diseño para las superficies caen dentro de cuatro categorías: eléctricos, mecánicos, químicos y físicos/ópticos. Como consecuencia, existe una amplia variedad de tratamientos superficiales y nuevas tecnologías que están siendo desarrolladas continuamente.¹

USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

I.1 Clasificación de distintos tratamientos superficiales

En la Fig. 1 se muestra una clasificación de los distintos tipos de tratamientos superficiales del acero.²

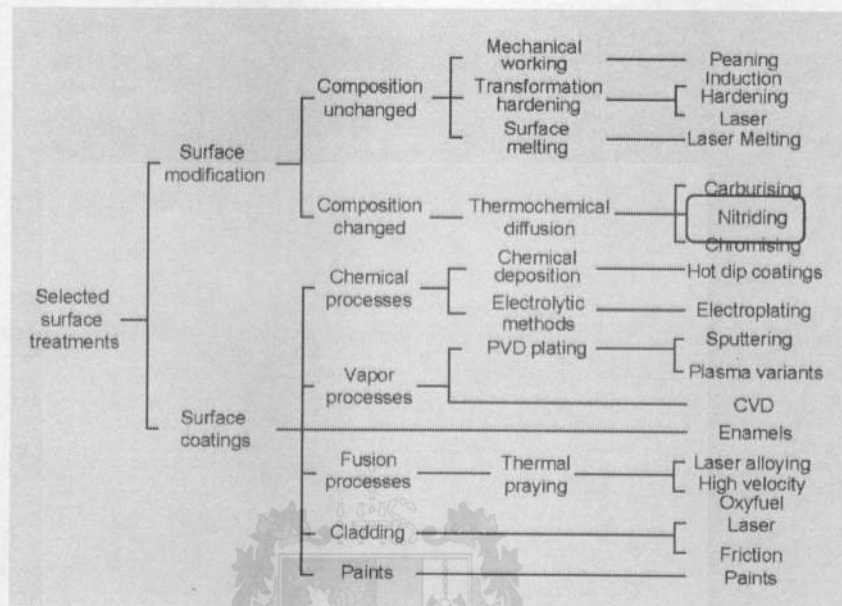


Figura 1: Clasificación de los tratamientos superficiales del acero.

Estas tecnologías se denominan con el nombre **surface engineering** o **case-hardening** y, podemos decir, que entre ellas, se encuentran los **Procesos termoquímicos**, **Procesos electroquímicos** y finalmente, los **Procesos mecánicos**.

1.2 Procesos termoquímicos

Los procesos termoquímicos se caracterizan por la **DIFUSION** del nitrógeno, carbono, oxígeno o boro, en superficies de acero, luego de que las mismas hayan sido tratadas térmicamente, con el objetivo de obtener una superficie dura.

Por lo tanto los procesos termoquímicos incluyen: ^{3,4}

- NITRURACION
- Carburización

- Carbonitruración
- Nitrocarburización ferrítica
- Boronización

Las típicas condiciones de proceso para estas metodologías de endurecimiento superficial se detallan y se comparan a continuación:

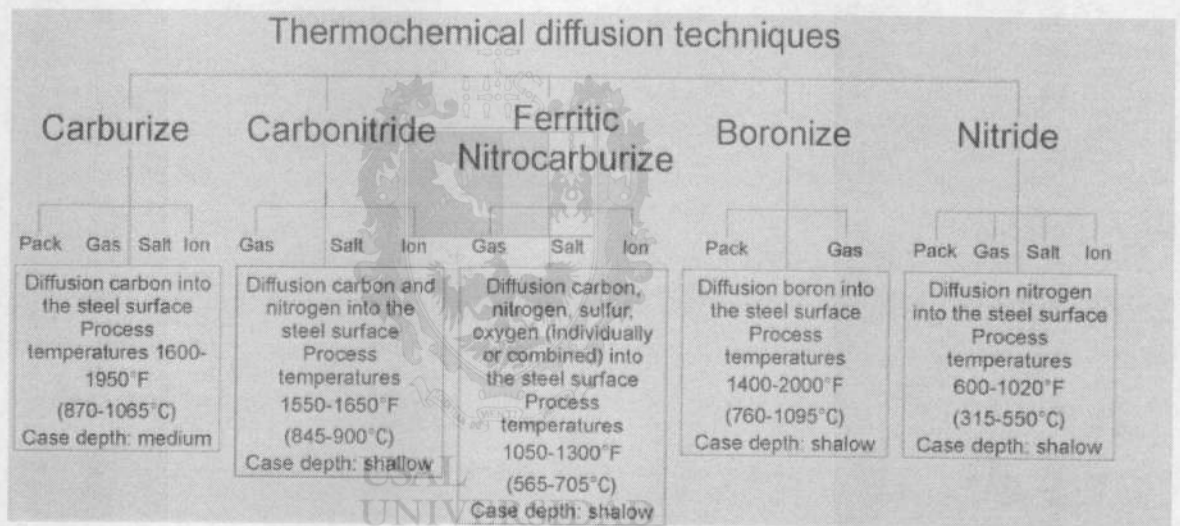


Figura 2: Comparación de los distintos procesos termoquímicos de difusión.

En este texto, se prestará especial atención a la difusión, a altas temperaturas, del nitrógeno en aceros produciendo un aumento en la dureza superficial, y por lo tanto, un aumento de la vida útil de los distintos componentes tratados bajo estos procesos termoquímicos, así como también las tensiones residuales resultantes.

La modelización de la difusión puede ser considerada relativamente simple siempre y cuando, las ecuaciones relacionadas estén planteadas de manera correcta. Sin embargo,

se debe considerar que durante la difusión puede existir una posible precipitación. Esta precipitación puede modificar la cinética de la difusión y producir la formación de nitruros.

La precipitación contribuye a la mejora de las propiedades mecánicas del componente tratado.⁵



USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR

II. DIFUSIÓN EN SÓLIDOS

La difusión en un sólido se refiere al movimiento de átomos dentro de una matriz atómica. A nivel atómico, este proceso consiste en la emigración de átomos de un sitio de la red atómica a otro sitio, a través de saltos aleatorios. El movimiento se produce de una región de alta concentración a una región de baja concentración.

La movilidad atómica exige dos condiciones:

- Un lugar vecino vacío.
- El átomo debe tener suficiente energía para romper los enlaces con los átomos vecinos y distorsionar la red durante el desplazamiento.

Esta energía es de origen vibratorio. Esta energía genera paquetes de ondas vibratorias que se llaman **fonones**, que se propagan por el sólido. La energía del fonón E_f está cuantificada mediante la ecuación

$$E_f = \frac{hc}{\lambda}$$

en donde h es la constante de Planck (4.135×10^{-15} eV-s), λ es la longitud de onda y c es la velocidad de la luz (2.998×10^8 m/s).⁶

A una temperatura determinada, una pequeña fracción del número total de átomos es capaz de difundir, debido a la magnitud de su energía vibratoria.

Esta fracción aumenta cuando hay ascenso de la temperatura, debido al aumento de la energía térmica de los átomos.

II.1. Conceptos generales de la difusión.

A continuación se explicaran ciertos conceptos de manera que se pueda entender la descripción física de la difusión.

II.1.1. Energía de activación.

Un átomo que se difunde debe escurrirse entre los átomos vecinos para ocupar una nueva posición.

El átomo está originalmente en un espacio de baja energía, bastante estable o equilibrado. Para desplazarse a otro lugar, el átomo debe atravesar una barrera de energía potencial y, para poder hacerlo, requiere de una *energía de activación* Q . Esta es la cantidad de energía que hay que suministrar al sistema para que la reacción, en este caso la difusión, se pueda efectuar.

El calor le proporciona al átomo dicha energía para superar a dicha barrera. La rapidez de difusión se puede modelar con la Ecuación de Arrhenius y la misma es igual a:

$$\text{Rapidez de reacción} = C \exp \left(-\frac{Q}{RT} \right)$$

en donde C es una constante, R es la constante universal de los gases, T ($^{\circ}\text{K}$) es la temperatura absoluta y Q es la energía de activación del proceso.

Tanto C como Q son valores característicos de cada reacción (es decir, no son constantes universales)

El concepto de la energía de activación Q , cuyas unidades son (KJ/mol) se representa esquemáticamente en la Fig. 3:

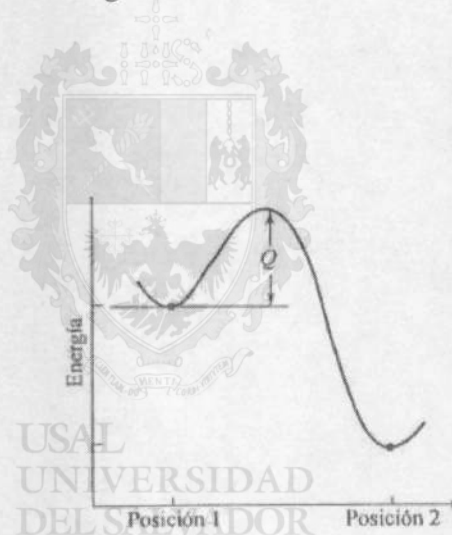


Figura 3: Concepto general de una barrera de energía de altura Q

Al ir de posición 1 una la posición 2, la energía general del sistema disminuye, pero se suministra la cantidad Q para que suceda la transición.

La energía de activación es menor en la difusión intersticial que en la difusión de vacancias.

II.1.2 Tipos de difusión en sólidos.

A continuación se detallaran los distintos tipos de difusión:

II.1.2.1 Auto difusión. Si nos situamos dentro de la estructura molecular de un material sólido, podemos observar el continuo movimiento de los átomos. Este fenómeno se llama ***autodifusión***.

Este fenómeno se debe a que hay una serie de lugares no ocupados por átomos, los cuales deberían estarlo, llamados ***vacancias***.

Las vacancias son ***defectos puntuales***. Estas son imperfecciones que se presentan dentro de la estructura de un sólido y tienen efectos profundos sobre las propiedades tanto físicas como mecánicas de la mayor parte de los materiales en ingeniería.

Se puede demostrar que la cantidad de vacancias se relaciona con la temperatura absoluta con la siguiente ecuación:

$$N_v = N_t \exp \left(-\frac{Q_{fv}}{RT} \right)$$

en donde N_v es la cantidad de vacancias a una temperatura T , N_t es la cantidad de vacancias más la cantidad de átomos existentes en la estructura, Q_{fv} es la energía de activación requerida para la formación de una vacancia y finalmente, R y T son las constantes ya mencionadas anteriormente.